

**УДК 621.373.826:535.247.4:
612.84**

Є. П. Тимофєєв, канд. техн. наук.
Національний науковий центр
"Інститут метрології"

ДОЗИМЕТРІЯ СВІТЛОДІОДІВ

Вступ. Світлодіодні технології демонструють безперервне зростання протягом останніх років, і подальші перспективи розвитку використання світлодіодів (СД) видаються вельми багатообіцяючими. Основою такого зростання є рівень енергетичних характеристик і, відповідно, яскравості світлодіодів, що постійно збільшується. Світловий потік від одного кристала вже зріс до сотень люмен. А використання світлодіодних модулів дозволяє вже говорити про тисячі люмен на пристрій.

Із зростанням енергетичних характеристик світлодіодів актуальним стає питання фотобіологічної безпеки при використанні світлодіодів і, відповідно, проведення їх дозиметрії.

В Україні питання впливу світла на організм людини за останні роки були порушені у цілому ряді робіт [1-4]. Розглядаються також і гігієнічні аспекти застосування світлодіодних джерел світла у системах промислового освітлення на виробничих підприємствах України. Однак важливим застереженням при використанні світлодіодних систем є недостатня вивченість впливу компонентів світлодіодного випромінювання на око людини з точки зору безпеки. Застереження викликає велика точкова яскравість і так звана «синя небезпека» [5].

Нормативні документи для дозиметричного контролю випромінювання світлодіодів. У Євросоюзі у 1993-2007 роках для оцінки фотобіологічної безпеки світлодіодів використовувався стандарт з лазерної безпеки ІЕС 60825-1. Із 2007 року для оцінки ризику використання світлодіодів використовується міжнародний стандарт ІЕС 62471, який класифікує їх за групами ризику (RG1, RG2, RG3), він є стандартом «спільної дії» з CIE S009 – стандартом фотобіологічної безпеки ламп і лампових систем. Стандарт ІЕС 62471 встановлює вимоги безпеки до рівнів випромінювання від різних джерел оптичного випромінювання у діапазоні від 200 до 3000 нм (крім лазерів і світлодіодів для оптичних ліній зв'язку). Однак для світлодіодів, що використовуються для передачі сигналів у відкритому просторі, і зараз ще використовують стандарт лазерної безпеки ІЕС 60825-12.

В Україні з 2006 року введено у дію стандарт ДСТУ ІЕС 60825-1:2004 [6], за яким світлодіоди за ступенем небезпеки генерованого випромінювання класифікуються, як і лазери, і підрозділяються на сім класів.

Клас 1: СД, які є безпечними при передбачуваних умовах експлуатації, навіть коли використовують оптичні прилади для прямого спостереження пучка.

Клас 1м: СД, які випромінюють промінь у діапазоні довжин хвиль від 302,5 нм до 4000 нм, які є безпечними при передбачуваних умовах експлуатації, але можуть бути небезпечними, якщо користувач використовує оптику на шляху пучка.

Застосування оптики у межах пучка може бути небезпечним у двох випадках:

- для пучка, що розходить (найбільш типовий параметр при використанні СД), якщо користувач має у своєму розпорядженні оптику на відстані до 100 мм від джерела пучка; або

- для колімованих пучків із діаметром більшим, ніж діаметр, рекомендований для вимірювання опромінення та енергетичної експозиції (наприклад, світлодіодний прожектор).

Діаметр обмежуючої апертури при дозиметричному контролі світлодіодного випромінювання з довжинами хвиль 400-1400 нм дорівнює 7 мм.

Клас 2: СД, які випромінюють видимий промінь у діапазоні довжин хвиль від 400 нм до 700 нм, де захист забезпечується природними реакціями, включаючи рефлекс мигання. Цю реакцію можна попередньо передбачити відповідним захистом під час прийнятних очікуваних умов роботи, використовуючи оптичні прилади для прямого спостереження пучка.

Клас 2м: СД, які випромінюють видиме випромінювання у діапазоні довжин хвиль від 400 нм до 700 нм, де захист забезпечується природними реакціями, включаючи рефлекс мигання. Проте спостереження вихідного випромінювання може бути небезпечніше, якщо користувач застосовує оптику в межах пучка.

Клас 3R: СД, які випромінюють у діапазоні довжин хвиль від 302,5 нм до 106 нм, де безпосереднє спостереження є потенційно небезпечним, але ризик нижче ризику лазерів класу 3в. Допустима межа випромінювання лежить у межах п'ятикратних допустимих меж випромінювання для класу 2 у діапазоні довжин хвиль від 400 нм до 700 нм і в межах п'ятикратних допустимих меж випромінювання для класу 1 в інших діапазонах довжин хвиль.

Клас 3В: Безпосереднє спостереження таких світлодіодних виробів завжди небезпечно. Видиме розсіяне випромінювання зазвичай безпечно.

Клас 4: Світлодіодні вироби, що створюють небезпечне розсіяне випромінювання. Вони можуть викликати ураження шкіри, а також створити небезпеку пожежі. При їх використанні слід дотримуватися особливої обережності. Цей варіант більш характерний для лазерної техніки.

З огляду на більшу порівняно з лазерами розбіжність випромінювання світлодіодів, введення додаткових класів 1М і 2М є дуже важливим і принциповим. Однак це, відповідно, робить складнішим проведення дозиметричного контролю випромінювання світлодіодів і накладає додаткові вимоги на апаратуру для їх дозиметрії.

Зважаючи на те, що ДСТУ ІЕС 60825-1:2004 є ідентичним міжнародному стандарту ІЕС 60825-1:2001, для спрощення розрахунків відповідно ДСТУ ІЕС 60825-1:2004 можливе використання комп'ютерної програми LaserSafe PC. LaserSafe PC, оригінальне і провідне програмне забезпечення для лазерної безпеки, вперше виготовлено в 1993 році і широко використовується в усій Європі та за її межами. LaserSafe PC – продукт спільного виробництва Lasermet і GL Services. Є безкоштовна демонстраційна версія цієї програми [7]. LaserSafe PC є всеосяжною і різнобічною програмою, яка охоплює всі можливі варіанти лазерних та світлодіодних випромінювачів. На рис. 1 і рис. 2 показані приклади розрахунку класу небезпеки світлодіодів з перевищення максимально допустимого рівня енергетичної експозиції (МДЕ) (maximum permissible exposure (MPE)). Часто в літературі, особливо

російськомовній, термін МДЕ замінюється еквівалентним терміном «предельно допустимый уровень» (ПДУ).

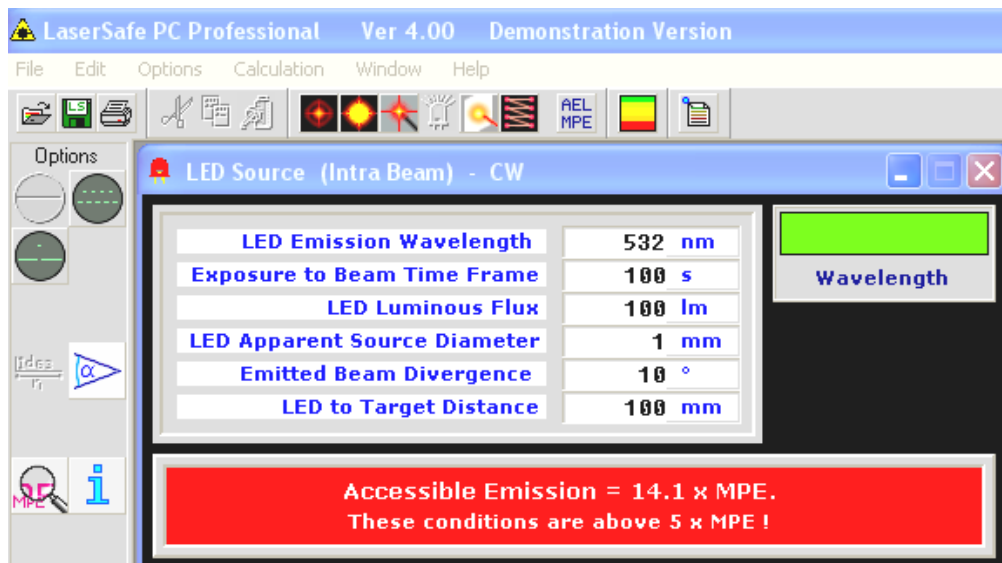


Рис. 1

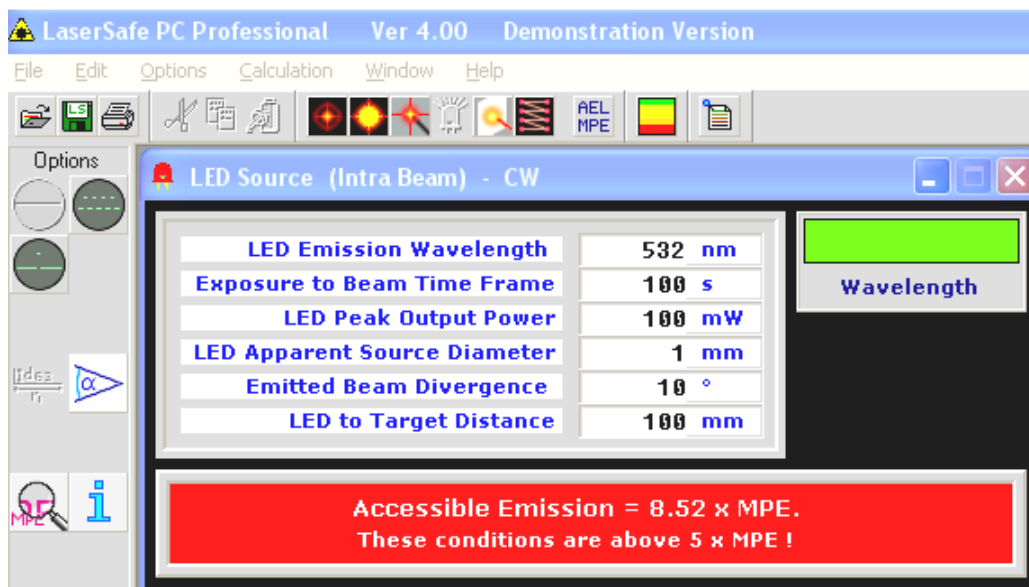


Рис. 2

Слід зазначити, що ДСТУ ІЕС 60825-1:2004 забезпечено додатком G, який містить перелік радіометричних специфікацій світловипромінюючих діодів, інформацією про які повинні забезпечувати виробники світлодіодів. Цей додаток охоплює також інфрачервоні світлодіоди.

Як впливає з тексту ДСТУ ІЕС 60825-1:2004, застосування його безпосередньо розповсюджується і на область світлотехніки. Отже, якщо виріб має СД класу вище 1, то на нього поширюються вимоги цього ДСТУ. З огляду на тенденцію переходу у світлотехніці на все більш потужні світлодіоди, актуальним стає розробка апаратури для дозиметрії оптичного випромінювання відповідно до вимог вищезазначеного стандарту. Отже, при визначенні параметрів дозиметра слід керуватися даними, наведеними в ДСТУ ІЕС 60825-1:2004.

Дозиметр світлодіодного випромінювання. Для вирішення поставленого вище завдання був розроблений макет дозиметра світлодіодного випромінювання. Конструктивно дозиметр являє собою малогабаритний настільний прилад, що складається з: блоку вимірювального, фотоприймального пристрою, змінної насадки до фотоприймального пристрою та підставки приймача. Зовнішній вигляд приладу подано на рис. 3.



Рис. 3. Зовнішній вигляд дозиметра.

На рис. 4 показана структурна схема дозиметра лазерного випромінювання.

Відповідно до схеми побудови дозиметр лазерного випромінювання складається з фотоприймального пристрою і блоку вимірювального. До складу фотоприймального пристрою входять: змінна насадка (на основі короткофокусної лінзи діаметром 55 мм), комплект змінних діафрагм (1 і 7 мм), оптичний інтегратор (молочне скло МС-13 товщиною 3 мм), фотоприймач (ФД24к). Змінна насадка до фотоприймального пристрою дозволяє збільшувати вхідну апертуру вимірювача до 50 мм. Через те, що в якості первинного вимірювального перетворювача у фотоприймальному пристрої застосовано кремнієвий фотодіод, спектральний робочий діапазон дозиметра складає 0,45 – 1,06 мкм.

До складу блоку вимірювального входять: багатограничний перетворювач струм-напруга, інтегратор, піковий детектор, аналого-цифровий перетворювач, індикатор, перемикач меж, схема скидання показань. Перетворювач струм-напруга, інтегратор, піковий детектор виконані на мікросхемах AD8605. Аналого-цифровий перетворювач – на аналогові мікросхеми 572PB5. Вибране схемне рішення дозволило використовувати однополярне живлення. Прилад має вбудоване джерело живлення, але за необхідності може комплектуватися зовнішнім блоком живлення.

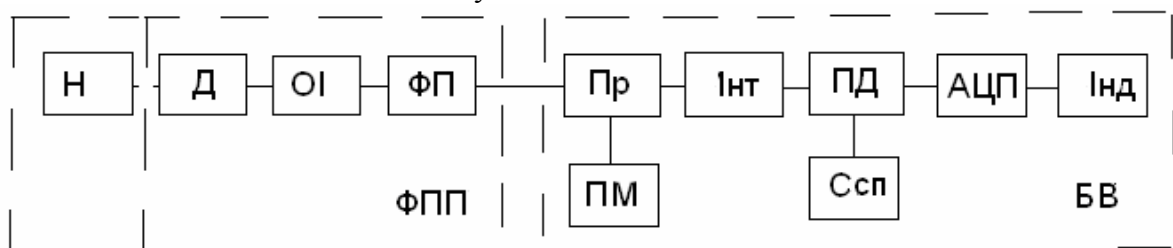


Рис. 4. Структурна схема приладу.

Н – змінна насадка;	Пр – перетворювач струм-напруга;
Д – діафрагма;	Інт – інтегратор;
ОІ – оптичний інтегратор;	ПД – піковий детектор;
ФП – фотоприймач;	ПМ – перемикач меж;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;	Інд – індикатор зображення;
ФПП – фотоприймальний пристрій;	БВ – блок вимірювальний;
Ссп – схема скидання показань.	

Попередні дослідження показали, що діапазон вимірювання опромінення складає 10^{-6} -1 Вт/см². Межа основної похибки дозиметра випромінювання світлодіодів не перевищує 15%.

Відповідно до рекомендацій ДСТУ для визначення інтенсивності доступного випромінювання встановлені три режими вимірювань. Режим 1 і Режим 2 застосовують для спектральної області, в якій спостереження через оптичні пристрої може збільшити ступінь небезпеки. Режим 1 призначений для застосування з колімованими пучками, для яких використання телескопів або біноклів може збільшити ступінь небезпеки, а Режим 2 призначений для застосування з джерелами, в яких пучки сильно розходяться, коли використання мікроскопів, ручних збільшувачів і очних луп може збільшити ступінь небезпеки. Режим 3 застосовують для неозброєного ока.

При вимірюванні у Режимі 1 дозиметр використовується зі змінною насадкою (вхідна апертура 50 мм) і розташовується на відстані 2000 мм від джерела випромінювання. При вимірюванні у Режимі 2 дозиметр використовується без змінної насадки (вхідна апертура 7 мм) і розташовується на відстані 14 – 100 мм від джерела випромінювання. При вимірюванні у Режимі 3 дозиметр використовується без змінної насадки (вхідна апертура 1 мм) і розташовується на відстані 100 мм від джерела випромінювання.

Висновки. Очевидно, що з огляду на рівень енергетичних характеристик світлодіодів, який постійно збільшується, а також відповідно до чинного ДСТУ ІЕС 60825-1:2004 необхідно проведення дозиметричного контролю випромінювання світлодіодів. На сьогодні в Україні при проведенні класифікації світлодіодів за ступенем небезпеки слід керуватися даними, наведеними в ДСТУ ІЕС 60825-1:2004.

У результаті проведеної роботи була вирішена задача з розробки дозиметра випромінювання світлодіодів. Проведені попередні його дослідження показали, що характеристики розробленого приладу знаходяться на рівні вимог діючих стандартів.

Описаний прилад може бути використаний при проведенні дозиметричного контролю випромінювання службою санітарно-гігієнічного нагляду України, для органів випробувань і сертифікації продукції, організацій та медичних установ, що розробляють, виробляють та експлуатують світлодіодну техніку.

У перспективі в Україні необхідно провести роботу з гармонізації діючих ДСТУ у сфері безпеки світлодіодів і лазерів з чинними міжнародними стандартами.

Список літератури

1. Вайтцель Р., Ваккер Р.А., Мюллер Ш., Хальбритер В. О влиянии света на человека с учетом новых воззрений. Светотехника // Світлотехніка. – 2005. – № 5. – С. 12-15.
2. Назаренко Л.А., Иоффе К.И., Тимофеев Е.П. Оценка биологического действия света // Світлотехніка та електроенергетика. – 2007. – № 3-4. – С. 4-10.
3. Назаренко Л.А., Иоффе К.И., Тимофеев Е.П. Измерение циркадной эффективности биологического действия света // Український журнал з проблем медицини праці. – 2008. – № 1 (13). – С. 8-12.

4. Мартиросова В.Г. Гигиенический аспект проблемы применения новых высокоэффективных источников света – светодиодов в системах производственного освещения как основы освещения будущего / В.Г. Мартиросова // Світло lux – 2008. – № 4. – С. 63-64.

5. Мартиросова В.Г., Назаренко В.И., Сорокин В.М., Галинский А.Д. Гигиенические аспекты применения светодиодных источников света в системах освещения на предприятиях Украины // Український журнал з проблем медицини праці. – 2009. – № 3 (19). – С. 65-72.

6. ДСТУ ІЕС 60825-1:2004. Безпечність лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання, вимоги та настанова користувачеві. – К.: Держспоживстандарт України, 2005.

7. http://www.lasersafepe.com/L_Home.htm

ДОЗИМЕТРИЯ СВЕТОДИОДОВ

Е.П. Тимофеев

Показана необходимость дозиметрического контроля излучения светодиодов в соответствии с ДСТУ ІЕС 60825-1:2004; выработаны требования к техническим характеристикам и приведены результаты разработки и предварительного исследования макета дозиметра излучения светодиодов.

DOSIMETRY OF LIGHT-EMITTING DIODES

E.P. Timofeev

The necessity of dosimetry control of light-emitting diode radiation in compliance with Sate Standard of Ukraine ДСТУ ІЕС 60825-1:2004 is shown. The performance attributes requirements are worked out. The results of the development and the pre-test of the model of dosage light-emitting diode radiation meter are presented in the article.